

جمعية المهندسين الملكية المصرية

تأسست فى ٣ دسمبر سنة ١٩٢٠

ومعتمدة بمرسوم ملكى بتاريخ ١١ دسمبر سنة ١٩٢٢

الطرق العمليـــة الحديثة

لحساب الانشاءات

للدكتور سيد عبد الواحد

ألقيت بجمعية المهندسين

يوم ١٢ مايو سنة ١٩٣٢

م . مصر سكر ٣٣٤٩/٣٢/١٠٠٠



جمعية المهندسين الملكية المصرية

تأسست فى ٣ دسمبر سنة ١٩٢٠

ومعتمدة بمرسوم ملكى بتاريخ ١١ دسمبر سنة ١٩٢٢

الطرق العمليـــة الحديثة

لحساب الانشاءات

للدكتور سيد عبد الواحد

ألقيت بجمعية المهندسين

يوم ١٢ مايو سنة ١٩٣٢

م . مصر سكر ٣٣٤٩/٣٢/١٠٠٠

الطرق العملية

لحساب الانشاءات

لفحص الانشاءات توجد غير الطرق النظرية طرق عملية ذات أهمية معترف بها فى الوقت الحاضر

وتنقسم الطرق العملية الى قسمين :

أولا — تجارب ومقاييس على انشاءات موجودة . وتستعمل نتائجها عادة للحكم على متانة الانشاء الذى أجريت عليه التجربة قبل استعماله وليس من المتيسر تكوين نظريات عامة بناء على مثل هذه التجارب لأن كل بناء له خواص ينفرد بها تتوقف الى درجة كبيرة على تكوين مادته وتركيب أجزائه وطريقة تحميله فلا يصح تعميم نتائجها .

ثانياً — تجارب وابحاث تعمل على نماذج مصغرة للانشاءات وهى ذات فائدة كبيرة فى دراسة المشروعات إذ يمكن بواسطتها دراسة حلول مختلفة فى وقت قصير ويمكن

تطبيق نتائجهـا على الحالات المماثلة إذ أن مادتها وتفاصيـل أجزائها وطرق تحميلها معروفة .

وتجرى الحسـابات النظرية عادة على شـكل هندسى يمثل الانشاء بعـد إدخال تسهيلات وفروض قد تـكون ذات تأثير كبير فى دقة النتائج .

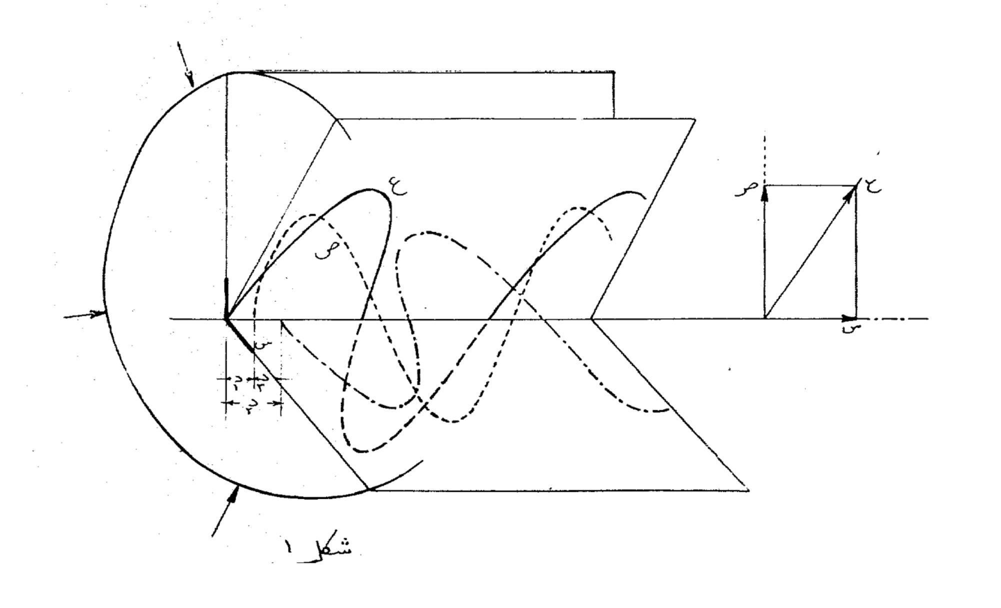
ويسرنى أن اقرر بانه فى جميع الأحوال التى اشتركت فى فحصها كانت النماذج أقرب الى الحقيقة من الحسابات البحتة .

ويمكن بواسطة النماذج تتبع الغرضين التاليين :

أولا — فحص طرق الحساب الموجودة وتحسينهـا أو تكميلها .

ثانياً — فحص الانشاءات التى ما زالت الطرق النظرية عاجزة عن الالمام بها من جميع نواحيها .

وموضوعنا اليوم هو شرح الطرق العملية المستعمله لفحص نماذج الانشاءات وتعرف كيفية تأثير القوى عليها .



شکل ۱

ولايخفى أن المهندس المصمم يحتاج عدا ذلك إلى معرفة المادة المستعملة فى الانشاء وتحديد الاحمال والمؤثرات التى يتعرض لها .

طريقة الأشعة .

تستعمل هذه الطريقة لتحديد قيم الجهود وتوزيعها فى النماذج تحت تأثير قوى تعمل فى مستويها .

وهذه الطريقة مبنية على خاصية الانكسار المزدوج للأشعة عند مرورها فى لوح شفاف به جهود التى اكتشفها « فرتهايم » ووضع نظريتها « نويمان » فى سنة ١٨٤١ وتتخلص فيما يأتى :

اذا مر شعاع ضوئى فى جسم شفاف به جهود فأنه يتحلل بعد خروجه إلى شعاعين اتجاههما هو نفس اتجاه الجهدين الرئيسيين

ففى شكل (١) يتحلل الشعاع ع الى مركبتين س ، ص ويتناسب فرق سيرهما د$_٣$ مع فرق الجهدين الرئيسيين ج$_١$ ، ج$_٢$

أى أن $د_{٣} = ك\,(ج_{١} - ج_{٢})$

وأمكن الأستاذ « مناچيه » بباريس فى أوائل القرن الحالى الأستفادة من هذه الخاصية لتعيين قيمة الجهدين وذلك بعد الأستعانة بقياس تغيير سمك النموذج الذى يتناسب مع مجموع الجهدين .

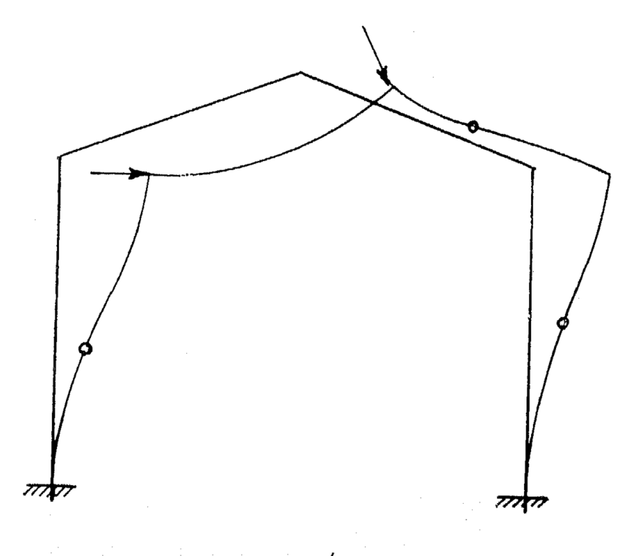
ولما كان قياس تغيير سمك النموذج بالطرق الميكانيكية المعروفة سبباً فى عدم دقتها إلى الدرجة المطلوبة فكر الدكتور « فاڤر » بزوريخ فى الأستغناء عن هذا القياس بأيجاد علاقة أخرى بين الجهدين الرئيسيين وفرق السير بين المركبتين والشعاع الأصلى $د_{١}$ ٥ $د_{٢}$ وهذه العلاقة هى :

$$د_{١}\ ٥\ د_{٢} = (ا\,ج_{١} + ب\,ج_{٢})$$

وتتوقف قيم الثوابت ك ٥ ا ٥ ب على مادة النموذج وطول موجة الشعاع المستعمل .

وأما القيم $د_{١}$ ، $د_{٢}$ ، $د_{٣}$ فتقاس بعد تحميل النموذج بواسطة جهاز يسمى « المعوض الضوئى »

ويمكن بهذه الطريقة الحصول على قيم الجهود بدقة



شكل ٢

تزيد على حاجة المهندس المصمم ولكنها تحتاج إلى أجهزة كثيرة ووقت طويل مما جعل استعمالها مقصورا على معامل الابحاث الطبيعية

طريقة ريكهوف

تستعمل هـذه الطريقة فى حساب العمارات وتعمل نماذج من شرائط صلب رفيعة تمثل محاور أضلاع البناء

ويشد النموذج فى اتجاه القوى المراد معرفـة تأثيرها بحيث يتغـير شكله بدرجة ظاهرة ثم تحـدد مواقع نقط الانقلاب شكل (٢) وفيها الانحناء يساوى صفرا بواسطة جهاز تعيين التقوس وبعد ذلك يسهل تقسيم الانشاء الى أجزاء متزنة تحت تأثير القوى الخارجية والقوى الداخلية فى نقط الانقلاب فتحسب القوى والعزم المطلوب ايجادها

وتؤدى هذه الطريقة خدمات كبيرة فى حساب العمارات بسرعة ولكن دقة نتائجها قد تكون غير كافية فى بعض الأحوال لأن التغييرات الشكلية الكبيرة يتبعها اختلاف المواقع النسبية للقوى ويصعب عمل نماذج من الشرائط

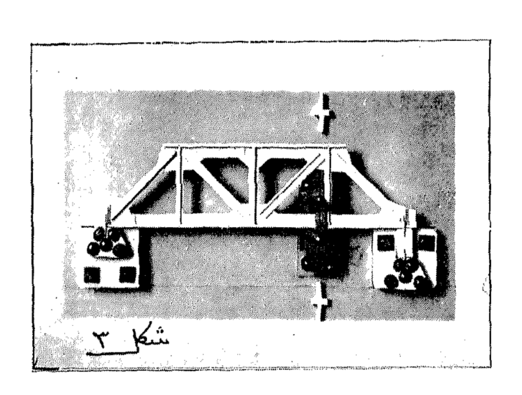
الصلب للانشاءات المعقدة خصوصا اذا كان بها أضلاع غير مستقيمة مثل الكبارى

طريقة الاستاذ « بجز » الولايات المتحدة

تستعمل فى هذه الطريقة نماذج من الورق المقوى أو السلولويد تثبت فى وضع أفقى وتعطى تغييرات شكلية بواسطة جهاز «بجز» فيأخذ خط الطريق شكل خطوط التأثير وتقاس أحد اثياتها ميكروسكوبيا ويرى فى شكل (٣) نموذج من السلولويد لكمرة شبكية مثبت فيه جهاز الأستاذ « بجز » لأحداث التغييرات الشكلية اللازمة

وتستعمل هذه الطريقة بكثرة فى حساب الكبارى فى الولايات المتحدة

وقد لوحظ أثناء تطبيقها فى قلم كبارى سكك حديد سويسرا أن جهاز « بجز » لايعطى القيم المطلوبة للتغييرات الشكلية ويجب أن تكون صحيحة لأقرب $\frac{1}{1000}$ من المليمتر ولذلك تتأثر النتيجة بأى خطأ يحدث من الجهاز



شكل ٣

من ذلك نشأت فكرة البحث عن جهاز آخر أكثر دقة وقد تمكن الاستاذ « مانيبل » ببلجيكا فى سنة ١٩٢٧ من ادخال تحسين على جهاز الاستاذ « بجز »

ثم أمكن الاستغناء عن هذه الأجهزة باستعمال طريقة « المفصلة » فى سنة ١٩٢٩ .

طريقة المفصلة

ويمكن بواسطتها فحص النماذج المستوية والفراغيةبدون الحاجة إلى جهاز لأحداث التغييرات الشكلية

وتتلخص الفكرة الأساسية التى بنيت عليها هذه الطريقة فيما يلى :

يوجد بين التغييرات الشكلية للأنشاءات والقوى المسببة لها ارتباط محدود وينص قانوص « هوك » على أن نسبة الجهود إلى التغييرات الشكلية ثابتة وتساوى معامل المرونة

وتبنى جميع طرق الحساب الحالية على أن العلاقة بين القوى والتغييرات الشكلة هى معادلة من الدرجة الأولى

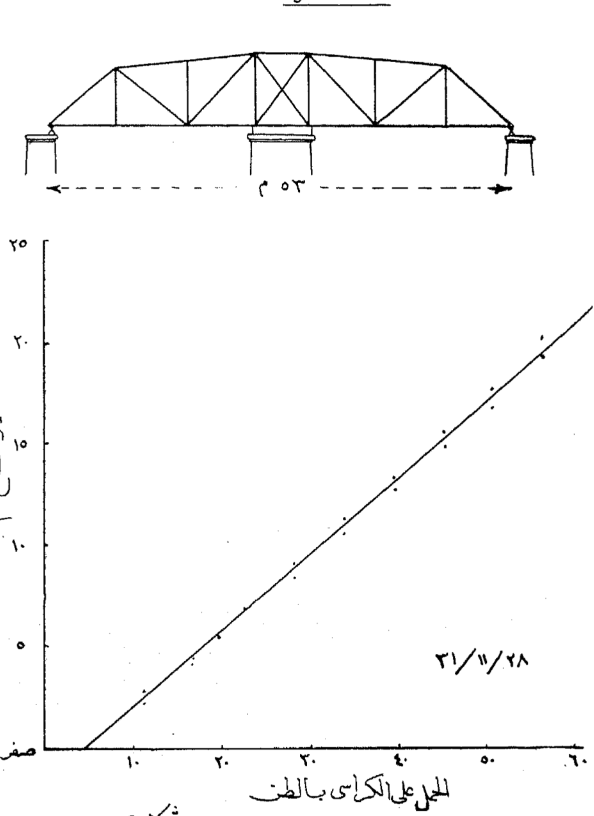
فأذا رمزنا للتغيير الشكلى فى أى نقطة بالحرف «ت» وللقوى المسببة بالأحرف $ق_١$ ، $ق_٢$ ، $ق_٣$ ،... أمكننا وضع المعادلة بالشكل الآتى

$$ت = ك_١ ق_١ + ك_٢ ق_٢ + ك_٣ ق_٣$$

$ك_١$ ، $ك_٢$ ، $ك_٣$ اعداد ثابتة تتوقف على شكل ومادة الأنشاء وموضع القوى

كوبرى ادفينا

تجربة الفتحة المتحركة



شكل ٥

وقد أثبتت التجارب التى أجريت على الانشاءات الحديدية صحة هذه النظرية ويرى من نتيجة تجربة الفتحه المتحركة لكوبرى أدفينا أن النسبة ثابتة بين الحمل على الكراسى وارتفاع طرف الكمر (شكل ٥)

وكذلك تدل تجارب الانشاءات الخرسانية على أنه للأحمال الصغيرة المعتادة يصح تطبيق هذه النظريه أما للأحمال الكبيرة فلا يمكن تطبيقها بدقه لأن معامل مرونة الخرسانة يتناقص كلما زاد الحمل

ومن ذلك يتضح أمكان الاستدلال على الكميات الاستاتيكية المجهولة بواسطة قياس التغييرات الشكلية

فاذا أردنا معرفة قيمة عزم الانحناء فى أحدى نقط انشاء أو نموذج يمثله حذفنا هذا العزم المجهول بواسطة مفصلة توضع فى نقطة تأثير العزم فيتغير الترخيم بمقادير مناسبة للعزم المحذوف ويمكن من هذا التغيير الاستدلال عليه

وكما أنه يمكن حذف عزم الانحناء بواسطة المفصلة يمكن أيضا حذف القوى المحورية وقوى القص بقطع

النموذج فى مكان تأثيرها واستنتاج قيمها من تغيير الترخيم

وفى أغلب الأحيـان يمكن الاكتفاء بمعرفة عزوم الانحناء فى نقط مختلفة من الانشاء وحساب الجهود والقوى الأخرى عن طريقها ومن ذلك نشأت التسمية « طريقة حذف العزم » أو « طريقة المفصلة »

النظرية الأساسية وبرهانها

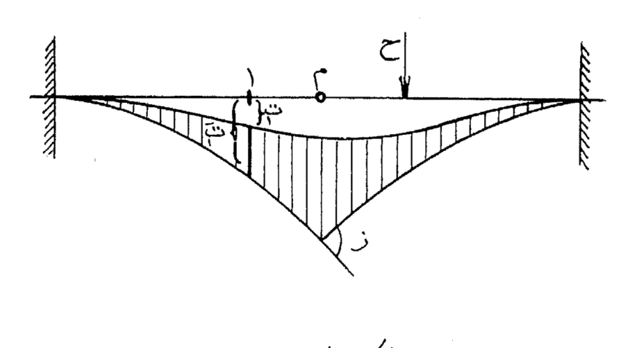
« احداثيات التأثير لأى كمية استاتيكية تتناسب مع فرق الترخيم فى الانشاء قبـل وبعد حذف هذه الكمية ومقياس التناسب هو عبارة عن التغيير الشكلى فى اتجـاه الكمية المجهولة بعد حذفها »

البرهان (شكل ٤)

نفرض أن

م = عزم الانحناء فى نقطة الوسط بناء على الحمـل الاختيارى «ح»

$م_{١}$ = احـداثى التأثير فى نقطة (١) لعزم الانحنـاء فى الوسط



شكل ٤

$ت_١$ = الترخيم فى نقطة (١) قبل حذف العزم «م»

$تَ_١$ = » » » » بعد » » » »

ز = الزاوية الناشئة من الحمل الاختيارى «ح»

$ز_١$ = » » » وحدة الحمل فى نقطة (١)

والمطلوب برهان أن

$$م_١ = \frac{تَ_١ - ت_١}{ز} \quad أى = \frac{فرق\ الترخيم}{الزاوية}$$

بما أن التغيير الشكلى يتناسب مع الحمل المسبب

$$أذن\ \frac{ز}{م} = \frac{ز_١}{م_١} \quad أو\ ز_١ = \frac{ز\ م_١}{م}$$

وكذلك .

$تَ_١ - ت_١ = م \cdot ت_{م=١}$ أى أن فرق الترخيم الناشىء من «م» = فرق الترخيم الناشىء من وحدة العزم × م

وحسب نظرية مكسويل

$$ت_{م=١} = ز_١$$

أو

$$ت'_١ - ت_١ = م . ز_١$$

العزم $$م = \frac{ت'_١ - ت_١}{ز_١}$$

وباستعمال التناسب $\frac{ز}{م} = \frac{ز_١}{م_١}$ نجد أن

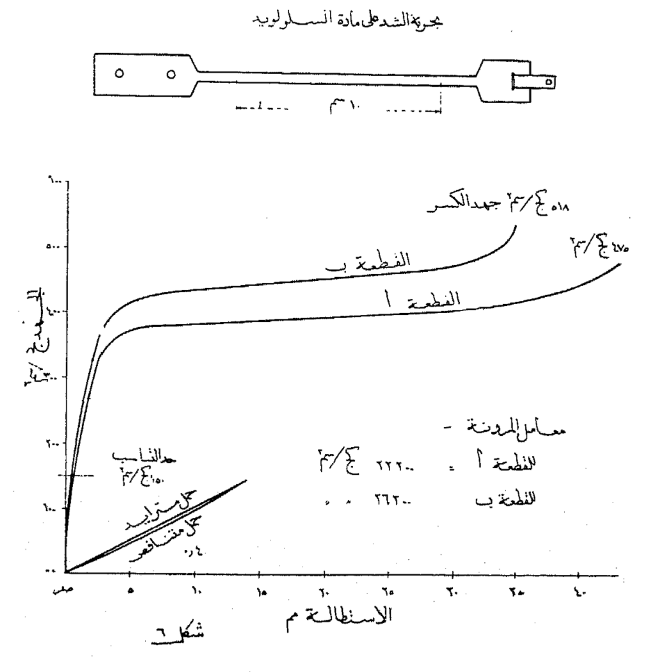
$$م_١ = \frac{ت'_١ - ت_١}{ز'}$$ وهو المطلوب

ويمكن تعميم البرهان ليسرى على أى كمية استاتيكية غير العزم مثل القوى والقص والتغييرات الشكلية وخلافها

النمـــاذج

مادتها وطرق عملها

تعمل النماذج من السلولويد (المادة التى تعمل منها مثلثات الرسم) وهو مركب من نترات القطن والكافور



تجربة الشد على مادة السلولويد
١٠ سم
٥١٨ كج/سم٢ جهد الكسر
٤٧٥ كج/سم٢
القطعة ب
القطعة أ
معامل المرونة -
للقطعة أ = ٢٢٢٠٠ كج/سم٢
للقطعة ب ٢٦٢٠٠ « «
حد التناسب
١٥٠ كج/سم٢
حمل متزايد
حمل متناقص
٠٫٤
الجهد كج/سم٢
٦٠٠
٥٠٠
٤٠٠
٣٠٠
٢٠٠
١٠٠
٠٠
صفر
٥
١٠
١٥
٢٠
٢٥
٣٠
٣٥
٤٠
الاستطالة مم

شكل ٦

ويباع بشكل ألواح يختلف سمكها من ١ و . ملليمتر الى ١٥ ملليمتراً ومساحتها حوالى متر مربع وهو متجانس التركيب ويصلح للغرض لسهولة لحام أجزائه بواسطة سائل الأسيتون الذى يذيب السلولويد

وأما خواص المرونة لهذه المادة فهى مناسبة لأحداث تغييرات شكلية كبيرة يسهل قياسها إذ أن معامل مرونته نحو ماية مرة أقل من معامل مرونة الحديد

وقد أجريت تجارب كثيرة على هذه المادة لمعرفة خواصها وأمكن الحصول على القيم الآتية : (شكل ٦)

معامل المرونة = ٢٤٠٠٠ كج / سم^{٢}

معامل الالتواء — ٨٥٠٠ « «

نسبة تغيير الطول فى اتجاهين متعامدين = ٢$\frac{١}{٢}$

وتستعمل هذه القيم فى المسائل ذات البعدين كالأسقف وغيرها

ويوصى الأستاذ « بجز » باستعمال الورق المقوى لصناعة

النماذج ولكن لاحظنا أن بهذه المادة اليافا تجعل تركيبها غير متجانس فيختلف معامل مرونتها فى اتجاه الياف عنه فى الاتجاهات الأخرى

مقاييس النماذج وعلاقتها بالانشاء

يشترط فى النماذج أن تتناسب تغييراتها الشكلية مع مرادفاتهـا فى الانشاء تحت تأثير نفس القوى بمعنى أنه للحصول على التغييرات الشكلية للانشاء يكفى ضرب قيم التغييرات الشكلية التى تشاهد على النموذج فى عدد ثابت « ن » يسمى معامل الترخيم وهو عبارة عن مقياس تصغير سمك النموذج « ك » مضروبا فى نسبة معاملى المرونة لمادتى الانشاء والنموذج (هـ ، هـ$_{١}$)

$$ن = ك . \frac{هـ}{هـ_{١}}$$

ويلاحظ من هذا القانون أن معامل الترخيم لايتوقف على مقياس تصغير أطوال النموذج ومعنى ذلك أننا اذا عملنا نموذجين لانشاء ما أحدهما بمقياس $\frac{١}{١٠}$ والآخر بمقياس $\frac{١}{١٠٠}$

مثلا لو جدنا أن الترخيم فى النموذجين واحد لنفس الحمل على فرض تساوى سمكى النموذجين ولكن تفضل النماذج الكبيرة لسهولة صنعها وامكان تحميلها بأحمال أكبر

ولتحقيق الشرط الأساسى فى النماذج وهو وجود نسبة ثابتة بين التغييرات الشكلية فيها ومقابلاتها فى الانشاء وضعت القواعد الآتية

أولا : يشترط أن يكون شكل النموذج مشابها لشكل الانشاء من حيث محاور الأعضاء المختلفة على الأقل

ثانيا : اذا كان مقياس تصغير الطول « ل » ومقياس تصغير السمك « ك » وجب أن يكون مقياس تصغير المساحات ك × ل

ثالثا : مقياس تصغير عزم القصور الذاتى ك ل٣ ويمكن بنظريات المرونة برهنة أن هذه الشروط كافية لجعل المعامل النسبي للترخيم مساويا للقيمة السابق ذكرها ولا يشترط تمام التشابه فى جميع تفصيلات الانشاء وهذا يجعل عملية تشغيل النماذج سهلة بحيث يمكن للمهندس المصمم عملها بنفسه

تطبيقات

١ — جمالون لحمل سقف أفقى . شكل (٧) المطلوب :

ا — تعيين عزم الانحناء فى وسط الكمرة العلوية تحت تأثير حمل موزع .

ب — إيجاد خط تأثير عزم الانحناء فى وسط الكمرة العلوية .

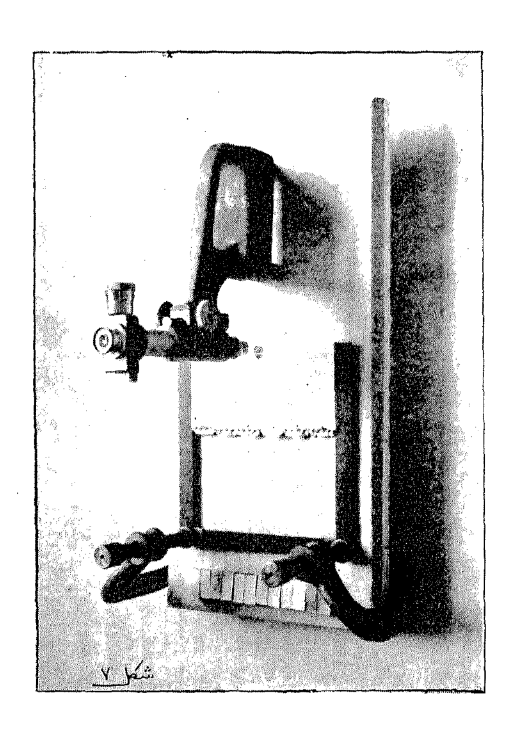
ا — أجرينا تعليق الحمل الموزع وقدره ٢ر١ كيلو جرام على شرائط من المطاط كما فى شكل (٧) ثم عينا الترخيم فى نقطة الوسط فكان ١٩٨و٠ ملليمتراً . بعد ذلك وضعت المفصلة وقيس الترخيم فكان ٦٢٤و٠ ملليمتراً .

وتبلغ الزاوية الناشئة من وحدة الحمل (واحد كيلو جرام) معلقاً فى نفس النقطة ٢٤٥ر٠ .

فحسب النظرية الأساسية يكون عزم الانحناء : م =

$$\frac{\text{ت}'_{١} - \text{ت}_{١}}{\text{ز}_{١}} = \frac{٠{,}٦٢٤ - ٠{,}١٩٨}{٠{,}٠٢٤٥}$$

= ٤ر١٧ ك ج جم



شكل ٧

ب — بتعليق كيلو جرام واحد فى وسط الكمرة حصلنا على القيم الآتية :

الترخيم قبل وضع المفصلة $ت_١$ = ٠٫٢٥٠ مم

« بعد « « $تَ_١$ = ١٫٠٤٥ مم

زاوية الانفراج ز = ٠٫٠٢٤٥

وبذلك تكون قيمة احداثى التأثير فى نقطة الوسط

$$م = \frac{تَ_١ - ت_١}{ز} = \frac{١٫٠٤٥ - ٠٫٢٥٠}{٠٫٠٢٤٥}$$

= ٣٢٫٤ كج مم

وهذه القيمة تختلف عن القيم المحسوبة بالطرق المعتادة مما دعا الى تعديل الأخيرة بإضافة تأثير الأركان كما يرى من الجدول التالى .

	طرق الحساب المعتادة	الحساب باعتبار الأركان الصلبة	حساب الطريقة الجديدة	طريقة المفصلة
عزم الانحناء كج سم	٣٫٣٣٦	٣٫١٢	٣٫٢٤٧	٣٫٢٤
الرفص كج	٠٫١٢٧	٠٫١٤٣	٠٫١٣٤	٠٫١٣٠

ويرى من هذا الجدول أن القيم حسب طريقة المفصلة متوسطة بين القيم المحسوبة وهذا يزيد الثقة فى دقتها .

٢ — عقد مثبت الطرفين . (شكل ٨)

ثبت العقد وطوله ٤٠ سم على لوحة التجربة أفقياً ووضع تحته كرات من الصلب لمنع احتكاكه باللوحة ثم صار تحميله بواسطة ثقل مدلى على بكرة وقيست قيم الترخيم بواسطة الميكروسكوب . ثم عملت المفصلة فى نقط الوسط والطرفين على التوالى. وقيست أحداثيات الترخيم وحسبت الفروقات بينها وبين الترخيم بدون مفصلة ومنها رسمت خطوط التأثير بعد القسمة على زوايا المفصلة كالمعتاد .

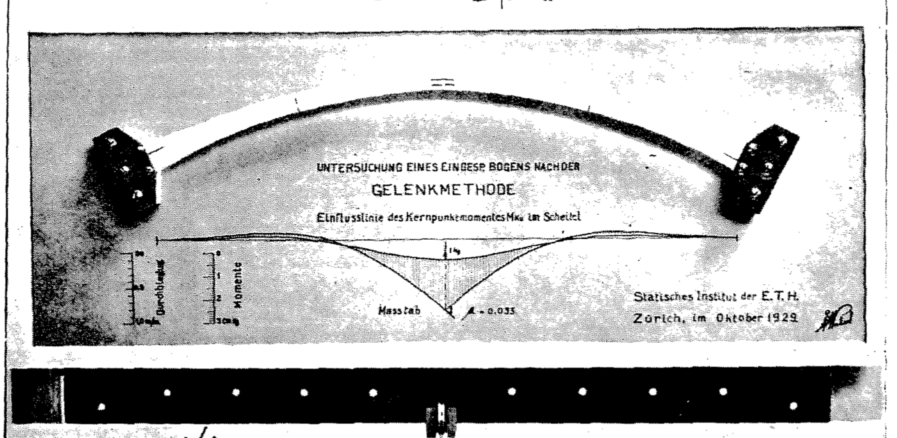
ويرى من الشكل (٩) أن نتيجة الحساب تتفق مع نتيجة القياس .

---

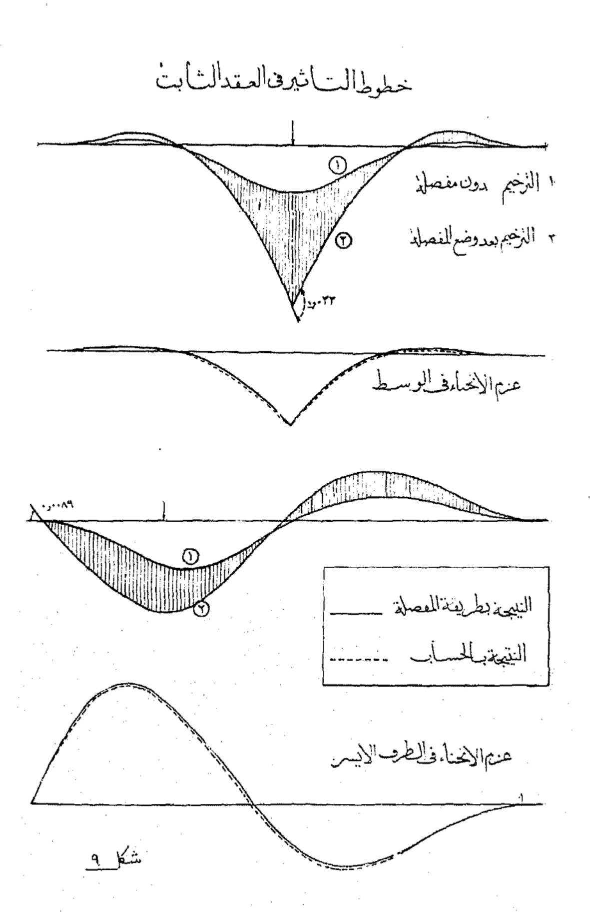
٣ — العقد الشبكى لكوبرى الرورباخ بقرب نفق الجوتهارد .

يتكون هذا الكوبرى كما فى الشكل (١٠) من عقد ذى مفصلتين عليه شبكه تحمل كمرات الخط الحديدى .

فحص عقد ثابت بطريقة المفصلة
خط تأثير عزم الانحناء في الوسط



شكل ٨



خطوط التأثير في العقد الثابت
١
٢
١ الترخيم دون مفصلة
٢ الترخيم بعد وضع المفصلة
٠٫٠٣٢
عزم الانحناء في الوسط
٠٫٠٠٨٩
١
٢
النتيجة بطريقة المفصلة
النتيجة بالحساب
عزم الانحناء في الطرف الايسر
١

شكل ٩

نموذج كوبري الروربخ ـ خط الجوتهارد

Schweizerische Bundesbahnen

Zelluloidmodell der Rohrbachbrücke

Modellmaßstab 1:50

0 5 10 15 20 25 30 cm

شكل ١٠

ويمكن الحكم لأول وهلة بأن هذا الكوبرى يتعذر حسابه بالنظريات المعروفة . إذ أن حل المعادلات التى تربط المجاهيل الغير المحددة بقوانين التوازن يحتاج إلى عدة أشهر ويكون دائماً عرضة للخطأ .

ولذلك صار حسابه فى قلم كبارى سكك حديد سويسرا بطريقة القطع الناقص التى وضعها « ريتر » فى أواخر القرن الماضى .

وهذه الطريقة مبنية على فروض لم تتحقق تماماً فى حالة هذا الكوبرى . مثل عدم انكماش أو انحراف القوائم التى تحمل السكة .

ولذلك وجدت فروقات كبيرة بين الحساب والحقيقة عند تجربة الكوبرى فى سنة ١٩٢١ بمناسبة تمرير قاطرات كهربائية ثقيلة .

وقد أدى هذا الأختلاف الى عمل نموذج للكوبرى بمقياس ١ : ٥٠ كما فى الشكل (١٠) وكان طوله ٢٠ر١ متراً . وحمل فى نقط مختلفة لتعيين خطوط التأثير حسب طريقة

المفصلة فحصلنا على النتائج الموضحة بالشكل (١١) . ومنه يتضح أن الفرق كبير جداً بين الحساب والتجربة فى حالة الأضلاع المائلة اذ تبلغ قيمة الشد الناشىء عن القاطرة ٢٧٠ كج على السنتيمتر المربع والقيمة المحسوبة ٤٥ كج / سم٢ أى أنها تنقص ستة مرات عن الحقيقة .

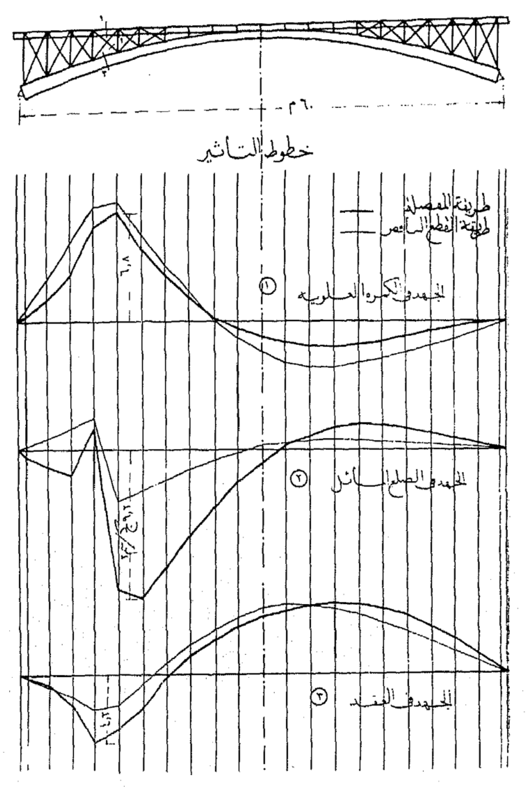
أما القيمة التى نتجت من فحص النموذج بطريقة المفصلة فتبلغ ٣٤٠ كج / سم٢ بزيادة ٢٥ ٪ عن التجربة .

فاذا راعينا أن التجربة عملت على عقدين بينهما الكمرات الحاملة للقضبان وينشأ عنهما وعن الشكالات بعض التقوية وأن النموذج عمل لعقد واحد خالى من هذه التقوية أمكننا تعليل بعض الفرق المذكور .

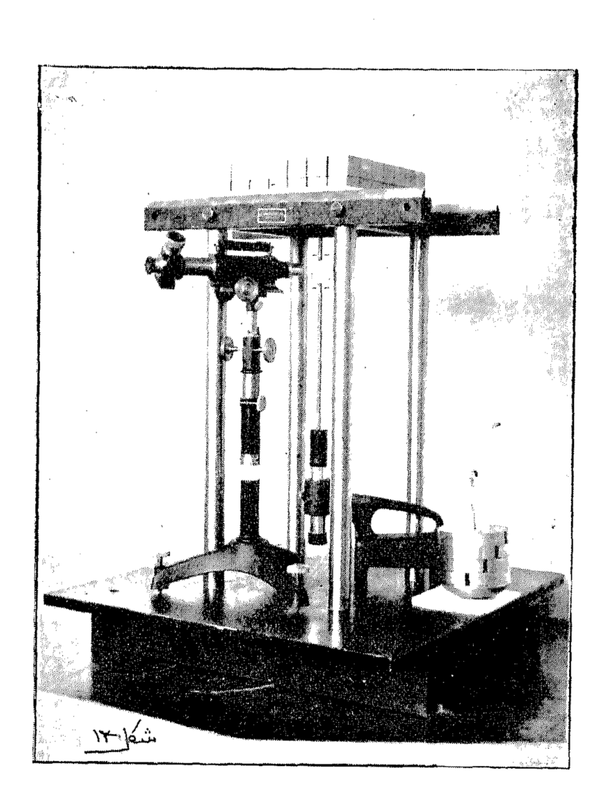
الأسقف

اذا تعدينا الانشاءات المستوية الى الانشاءات الفراغية كانت الأسقف هى أولاها بالفحص اذ أنه لا توجد حلول نظرية عامة لجميع حالاتها والمعادلات التفاضلية الأساسية لم

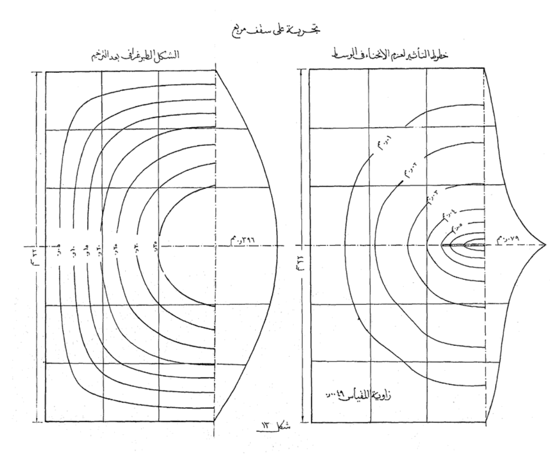
كوبري الروربخ ـ بقرب نفق الجوتهارد



شكل ١١



شکل ۱۳



تجربة على سقف مربع
الشكل الطبوغرافي بعد الترخيم
خطوط التأثير لعزم الانحناء في الوسط
زاوية المقياس ٠٫٠٠٤٩

شكل ١٣

تحل بعد الا فى حالات خاصة ولذلك فأن لموضوع الأسقف أهميه خاصة .

ويبين الشكل (١٢) جهاز فحص نماذج الأسقف وهو عبارة عن أطار من الصلب ترتكز عليه أطراف النموذج أو تثبت فيه حسب الحاجة وهو محمول على أربعة أعمدة غير قابلة للتأثر بتحميل النموذج ويقاس الترخيم على المؤشر الملاصق لأسفل السقف بواسطة الميكرسكوب الأفقى المبين بالشكل .

ويتكون الحمل الموزع من مكعبات من البرونز والحمل المركز من قطعة من كرة من الصلب تبقى متزنة فى وضع رأسى وتلامس السقف فى نقطة تقريباً .

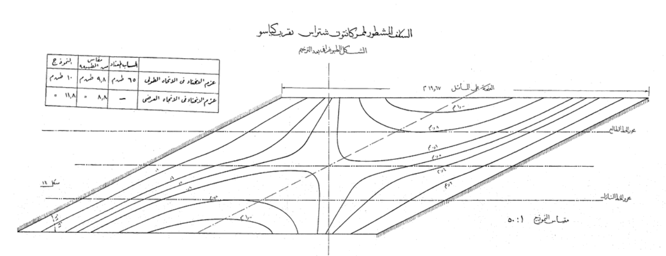
وقد أدت التجارب فى الحالات الممكن حسابها إلى نتائج مطابقة لنظريات المرونة .

ويبين الشكل (١٣) سقفاً مربعاً بعد تحميله بحمل موزع . وتدل خطوط الترخيم على الشكل الطبوغرافى للسقف .
وقد حذف العزم فى الوسط وحسبت فروقات الترخيم

ومنها المساحة التأثيرية للحمل المتحرك بطريقة المفصلة كالمعتاد

وفى شكل (١٤) رسم السقف المشطور لممر كانتون شتراس فى سويسرا. وقد دعا إلى تجربته اختلاف قيم الترخيم المقاسة عند مرور القطارات عن القيم المحسوبة ويبين الجدول الوارد بالشكل عدم صلاحية الطرق الحسابية المعروفة لهذه الحالة اذ يبلغ العزم التصميمى نحو ٦ أمثال العزم الحقيقى.

وقد أدت نتائج الفحص على النماذج إلى توفير كبير فى ممرين أنشأ بعد الممر المذكور.



	الحساب للاعتماد	مقاس من الطبيعة	النموذج
عزم الانحناء في الاتجاه الطولي	٦٥ طن م	٩,٨ طن م	١٠ طن م
عزم الانحناء في الاتجاه العرضي	—	٨,٨ "	١١,٨ "